# 角果碱蓬异型性种子植株生长生理指标的差异研究

姜 黎[1,2]， 赵振勇[1,2]， 张 科[1,2]， 田长彦[1,2]

（1. 中国科学院新疆生态与地理研究所，荒漠与绿洲生态国家重点实验室，新疆 乌鲁木齐 830011；
2. 中国科学院大学，北京 100049）

**摘 要：**采用盆栽试验比较分析在同一栽培条件下，不同居群角果碱蓬（*Suaeda corniculata*）异型性种子植株的生长、光合色素含量、盐分离子含量和N、P、K含量的差异性，以探讨角果碱蓬适应干旱区盐碱环境的生理生态机制。结果表明：(1) 棕色和黑色种子植株在生长、光合色素含量、盐分离子含量和N、P、K含量差异不显著，而新疆和内蒙古角果碱蓬植株在生长发育与生理指标上存在显著性差异。(2) 居群类型显著影响植株地上部干重，而不显著影响根部干重；叶绿素a含量、叶绿素b含量、叶绿素a+b含量和类胡萝卜素含量均未显著受到居群类型和植株类型的影响，表明角果碱蓬不同居群的植株光合功能相似。(3) 新疆与内蒙古居群的角果碱蓬体内$Na^+$、$K^+$、$Ca^{2+}$、$Cl^-$、$SO_4^{2-}$离子含量和P、K含量均存在显著差异，表明不同居群的角果碱蓬植株维持渗透的能力存在差异。(4) 不同居群角果碱蓬地上部的生长差异，与离子含量和对P、K吸收利用的差异有关，与氮素吸收能力和光合作用无关。因此，不同居群的角果碱蓬异型植株盐分离子吸收系统之间存在一定的协同关系，该协同作用与大量的矿质元素P、K含量密切相关，这些是角果碱蓬适应环境变化的重要生理机制之一。

**关键词：**异型性；矿质元素；角果碱蓬；光合色素含量

植物种子异型性通常是指同一植株产生不同类型种子的现象[1-2]。异型性种子的区别往往在大小、形态、颜色、休眠类型、传播途径等方面具有差异[2-6]。异型性种子不仅在萌发过程中呈现出差异性，在植株生长发育过程也呈现显著的差异。Ungar研究表明许多盐生植物具有种子异型性特性[7]，例如滨藜属、碱蓬属和盐角草属等植物均能产生异型性种子[8-10]，其中，一些碱蓬属植物同一植株上能同时产生棕色和黑色两种种子，盐地碱蓬、角果碱蓬和碱蓬就属于典型的种子异型性植物[11-13]。目前，更多研究关注环境因子(如盐分、温度等)对碱蓬属异型性种子生长发育的影响[11-15]，然而有关研究不同居群的异型性种子植株在生长、光合色素含量和矿质元素含量是否存在差异的报道很少。

角果碱蓬（*Suaeda corniculata*）是一年生真盐生植物，同一植株能产生两种(棕色种子和黑色种子)在颜色、形态、休眠类型和萌发等方面性状差异显著的种子[12]，棕色种子比黑色种子吸水能力更强、萌发率和耐盐性更高。以前的研究主要侧重于种子的萌发和结实性状等方面[12-15]，有关不同居群角果碱蓬异型性种子植株的生长生理指标是否存在差异的研究报道较少。因此，本文通过研究不同居群角果碱蓬异型种子植株生长、光合色素含量和矿质元素含量的差异比较，分析不同居群角果碱蓬种子植株的生长对同一环境的响应是否存在差异，以及角果碱蓬异型性种子植株的生长与生理指标是否存在显著差异。

## 1 材料与方法

### 1.1 角果碱蓬异型性种子采集

试验于2011年10月中旬，在新疆乌鲁木齐市红雁池（43°44′15"N，87°41′23"E，土壤可溶性盐含量2.9%）和内蒙古鄂尔多斯地区（38°14′15"N，107°30′24"E，土壤可溶性盐含量2.4%）采集角果碱蓬完全成熟的种子。待种子在室温条件下晾干后，

**收稿日期：**2020-10-31； **修订日期：**2020-12-03
**基金项目：**国家重点研发计划（2018YFE0207200）；中国科学院西部之光"一带一路"团队项目（2019-YDYLTD-001）
**作者简介：**姜黎（1980-），男，博士，副研究员，主要从事植物生理生态. E-mail: jiangli1015@126.com
**通讯作者：**田长彦. E-mail: tianchy@ms.xjb.ac.cn

搓去干燥的果皮。根据种子表皮的颜色,将种子分为棕色种子和黑色种子,并分别保存于种子袋中备用。

### 1.2 试验设计

试验于2012年4月15日,将角石英砂和蛭石按体积比2:1混匀后,施加基肥。每盆8 g奥绿肥(N:P:K:Mg的养分比例为15:11:13:2),拌匀后装入花盆(直径20 cm,高20 cm)备用,将新疆和内蒙古的角果碱蓬的棕色种子和黑色种子分别播种于花盆中。试验在中国科学院新疆生态与地理研究所阜康荒漠生态站(44°13′22"N,87°40′54"E)的温室[昼(28±3)℃,夜(18±3)℃,自然光]中进行。试验设置4个处理:不同居群(新疆和内蒙古)和异型性(棕色和黑色种子),每个处理设置8个重复。追肥处理每周一次(周一),每次喷施100 mL浓度为0.3 g·$L^{-1}$的花朵朵速效肥(N:P:K养分比例为20:20:20)溶液;由于角果碱蓬为真盐生植物,生长发育过程中需要盐分,盐分处理每周两次(周三和周日),每次喷施100 mL浓度为3 g·$L^{-1}$的盐溶液($NaCl$:$Na_2SO_4$:$NaHCO_3$的质量比为20:20:1)。盐分处理在试验开始14 d后进行。在不施加追肥或盐分时,喷施100 mL自来水。试验在播种98 d后取样测定。

### 1.3 指标测定

1.3.1 生物量测定 用去离子水将植物洗净,擦干水分,将植物地上部与根部分开,放置于信封中。植物鲜样在80 ℃条件下烘48 h至恒重,然后称干重。

1.3.2 光合色素含量测定 采取约0.2 g植株中部新鲜叶片,用去离子水洗净擦干后置于10 mL的带盖试管中,加入10 mL提取液(乙醇与丙酮体积1:1),放置于黑暗条件下直到浸提,变白色为止,分别在波长646 nm、663 nm和470 nm下用分光光度计比色[16]。

1.2.3 盐分离子含量测定 将植株干样粉碎后,测定地上部中盐分离子含量。采用ICP-MS (Perkin Elmer SciexDRC Ⅱ)测定$Na^+$、$K^+$、$Ca^{2+}$和$Mg^{2+}$含量,采用离子色谱法测定$Cl^-$和$SO_4^{2-}$含量[17]。

1.3.4 全氮、全磷和全钾含量测定 取植物干样,测定角果碱蓬植株地上部中全氮、全磷和全钾含量,植物采用硫酸-高氯酸消煮法进行消化,全氮采用半微量凯氏法,全磷采用比色法,全钾采用原子吸收分光光度法测定[18]。

1.3.5 数据分析 单因素方差和双因素方差采用SPSS 16.0软件进行分析,通过ANOVA检验差异的显著性,若差异显著,再利用Tukey检验确定处理间的差异性。

## 2 结果与分析

### 2.1 地上部生物量和根部干重

双因素方差分析表明,居群类型显著影响植株地上部干重,但不显著影响根部干重,植株类型及其交互作用均未显著影响地上部干重和根部干重(表1)。内蒙古居群中棕色种子植株的地上部干重与新疆居群中棕色种子植株的地上部干重之间差异不显著,而内蒙古居群中黑色种子植株的地上部干重与新疆居群中黑色种子植株的地上部干重之间差异显著(图1),表明了不同居群的角果碱蓬异型性植株在生理生态适应性上存在一定差异。

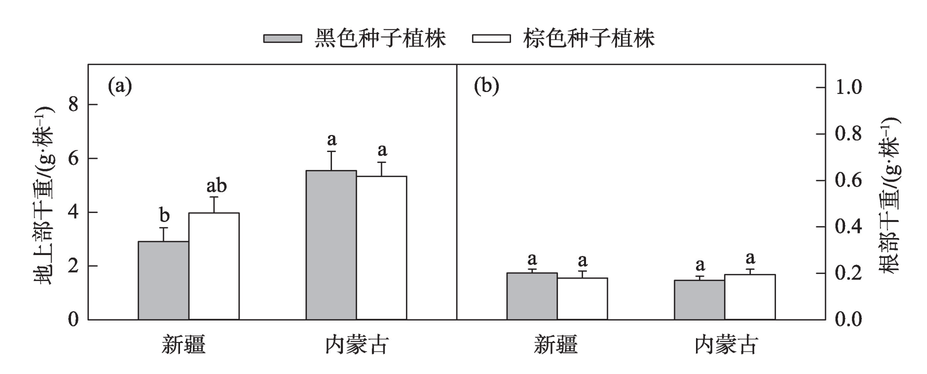
### 2.2 光合色素含量

叶绿素含量是反映植物叶片光合能力的一个重要指标。双因素方差分析表明,不同居群角果碱蓬异型性植株类型、居群类型及其交互作用对光合色素含量均未有显著影响(表1)。黑色与棕色种子植株的叶绿素a含量、叶绿素b含量、叶绿素a+b含量和类胡萝卜素含量均不存在显著性差异;新疆与内蒙古居群异型性植株的叶绿素a含量、叶绿素b含

表1 角果碱蓬生物量、光合色素含量和矿质元素含量的双因素分析结果

**Tab. 1 Two ANOVA of plant growth, photosynthetic pigment content and mineral nutrients content in heteromorphic seeds of *Suaeda corniculat*a in different populations**

| 参数 | 植株类型 | 居群类型 | 植株类型×居群类型 |
|---|---|---|---|
| 地上部干重 | 0.50 | 11.50*** | 1.16 |
| 根系干重 | 0.01 | 0.12 | 1.06 |
| Cha含量 | 0.39 | 3.42 | 0.03 |
| Cha+b含量 | 0.39 | 2.19 | 0.04 |
| Car含量 | 0.52 | 2.53 | 0.00 |
| $Na^+$含量 | 2.50 | 51.25*** | 0.04 |
| $K^+$含量 | 0.87 | 121.18*** | 0.03 |
| $Ca^{2+}$含量 | 0.02 | 4.86* | 0.31 |
| $Mg^{2+}$含量 | 5.5* | 0.24 | 3.78 |
| $Cl^-$含量 | 1.80 | 17.75*** | 0.02 |
| $SO_4^{2-}$含量 | 7.32* | 11.25*** | 0.16 |
| 全氮含量 | 0.39 | 0.05 | 2.07 |
| 全磷含量 | 0.42 | 11.64** | 1.78 |
| 全钾含量 | 1.37 | 28.51*** | 0.49 |




注:不同的小写字母表示植株间差异显著($P$<0.05)。下同。

图1 不同居群角果碱蓬异型性植株的地上部和根部干重

Fig. 1 Shoot dry weight and root dry weight of plants grown from heteromorphic seeds of *S. corniculata* in different populations

量、叶绿素a+b含量和类胡萝卜素含量均不存在显著性差异(图2),结果表明不仅两种角果碱蓬异型性(棕色种子和黑色种子)植株的光合作用相似,而且新疆与内蒙古两个居群的角果碱蓬植株光合作用也具有相似特征。

### 2.3 盐分离子含量

研究表明盐生植物生长过程中需要一定量的盐分离子来维持渗透调节,这些盐分离子能促进角果碱蓬的生长发育。双因素方差分析表明,居群类型显著影响$Na^+$、$K^+$、$Ca^{2+}$、$Cl^-$、$SO_4^{2-}$离子含量,但植株类型仅对$Mg^{2+}$和$SO_4^{2-}$离子含量的影响达到显著水平(表1)。内蒙古居群的棕色和黑色种子植株的$Na^+$含量显著高于新疆居群的棕色和黑色种子,而内蒙古居群的棕色和黑色种子植株的$K^+$含量显著低于新疆居群的棕色和黑色种子。新疆居群的棕色种子植株的$Mg^{2+}$含量显著高于黑色种子,与内蒙古居群的棕色和黑色种子植株的$Mg^{2+}$含量之间均不存在显著差异。内蒙古居群的棕色和黑色种子植株的$Cl^-$含量显著高于新疆居群的棕色和黑色种子植株。内蒙古居群的棕色和黑色种子植株的$SO_4^{2-}$含量与新疆居群的棕色和黑色种子植株间差异不显著(图3)。结果表明,新疆居群和内蒙古居群的植株中,不同居群的角果碱蓬植株维持渗透的能力存在差异,这可能与其生长存在差异有关。

### 2.4 全氮、全磷和全钾含量

植株类型与居群类型及其交互作用均未显著影响全氮含量(表1),表明新疆与内蒙古居群的角果碱蓬植株吸收氮素的能力差异不显著;与棕色种子植株相比,黑色种子植株的全氮含量差异不显著;与内蒙古居群相比,新疆居群异型性植株的全

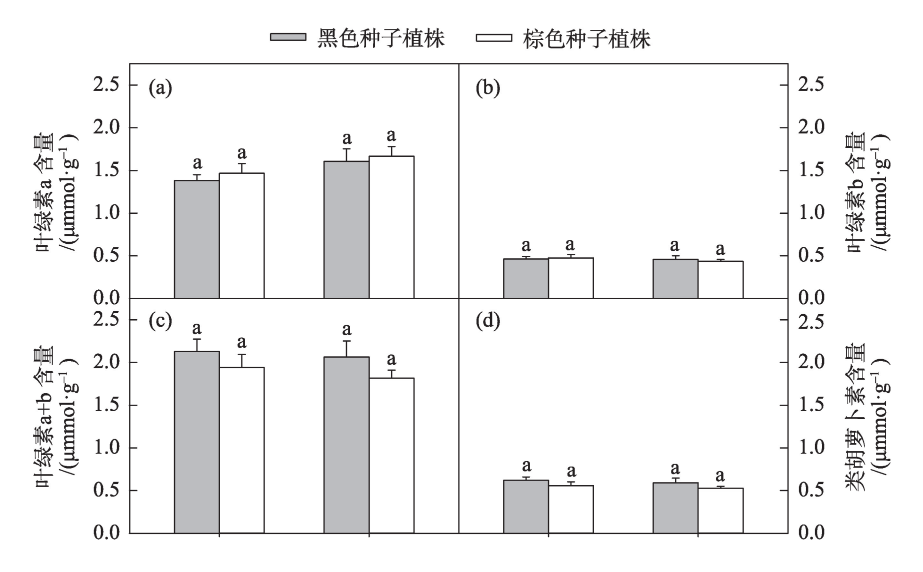



图2 不同居群的角果碱蓬异型性植株光合色素含量

Fig. 2 Photosynthetic pigment content of plants grown from heteromorphic seeds of *S. corniculata* in different populations

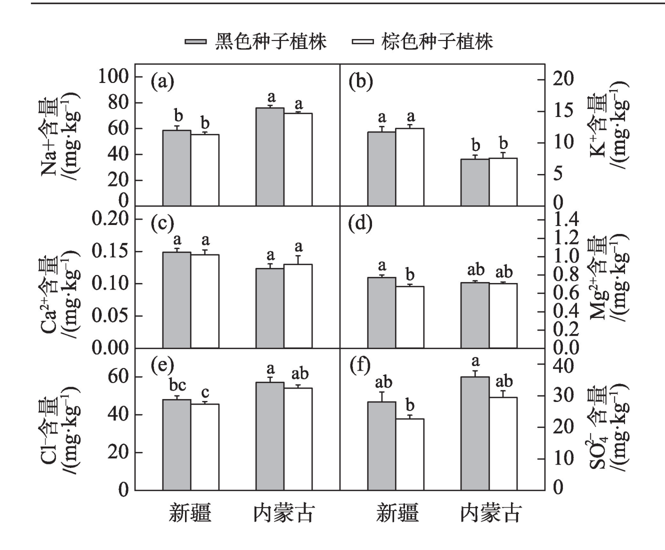



图3　不同居群的角果碱蓬异型性植株盐分离子含量

Fig. 3　Ion contents of plants grown from heteromorphic seeds of *S. corniculata* in different populations

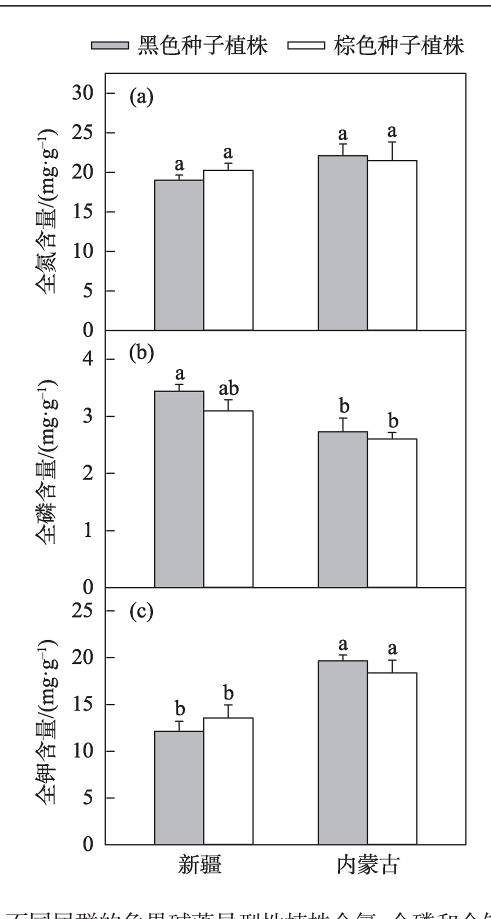



图4　不同居群的角果碱蓬异型性植株全氮、全磷和全钾含量

Fig. 4　Contents of total N, total P and total K of plants grown from heteromorphic seeds of *S. corniculata* in different populations

氮含量差异也不显著,表明不仅角果碱蓬的异型性植株吸收氮素相似,而且不同居群的角果碱蓬植株氮素利用的能力相似(图4)。居群类型对全钾和全磷含量有显著影响(表1),内蒙古居群的棕色种子植株的全磷含量显著高于新疆居群的棕色种子和黑色种子,内蒙古居群的黑色种子植株的全磷含量高于新疆居群的黑色种子植株(图4)。

## 3　讨　论

目前,诸多学者对角果碱蓬的研究主要集中在繁殖学[12-14]、分子生物学[19-20]和盐碱地种植[21-22]。本文首次研究不同居群的角果碱蓬异型性植株的生长、光合色素含量和矿质营养,结果表明:异型种子植株的生长、光合色素含量和矿质营养对相同环境的响应相似;新疆和内蒙古居群的植物生长和矿质营养存在很大的差异性,但光合色素含量表现相似;角果碱蓬生长过程中需要一定的盐分离子来维持渗透调节,不同居群的角果碱蓬异型性植株盐分离子和全钾、全磷吸收系统之间存在一定的协同关系。

角果碱蓬异型种子植株的生长、光合色素含量和矿质营养对同一环境的响应相似,说明了新疆和内蒙古居群的棕色种子和黑色种子植株生长发育过程中并未表现出差异性。异型性种子植株的地上部生物量相似,这与异型性种子植株的光合色素含量、盐分离子含量和全氮、全钾、全磷吸收能力相似。异型性种子植株的光合色素含量相似,角果碱蓬棕色种子和黑色种子植株的光合能力相似;角果碱蓬植株含有较高浓度的盐分离子,说明角果碱蓬生长过程中需要一定量的盐分离子来维持渗透调节[23-24],这些盐分离子进而促进角果碱蓬的生长发育。角果碱蓬棕色种子和黑色种子植株的盐分离子含量相似,表明角果碱蓬异型性植株之间的渗透调节能力差异不显著,与异型性植株的生长差异不显著有关。角果碱蓬棕色种子和黑色种子植株的全氮、全磷和全钾含量相似,说明角果碱蓬异型性植株吸收养分的能力不存在差异,可能是角果碱蓬异型性植株之间生长相似的主要原因之一。

不同居群角果碱蓬的生长、离子含量和矿质营养存在显著的差异性,但光合能力表现相似。新疆居群和内蒙古居群的植株中光合色素含量差异显著,表明角果碱蓬不同居群之间的光合作用差异不显著。新疆居群和内蒙古居群的植株中盐分离子含量差异显著,表明角果碱蓬不同居群之间渗透调

节的能力差异显著,可能是不同居群的生长存在差异的主要原因之一。植株类型与居群类型及其交互作用均未显著影响全氮含量,表明新疆与内蒙古居群的角果碱蓬全氮的吸收能力差异不显著;而植株类型与居群类型及其交互作用均显著影响全钾和全磷含量,表明新疆与内蒙古居群的角果碱蓬全钾和全磷的吸收能力差异显著,这可能是其生长存在差异的主要原因。

## 4 结 论

从不同居群的角果碱蓬的异型性种子植株的生长和生理指标分析,主要得出如下结论:(1)相同环境下,与角果碱蓬棕色种子植株相比,黑色种子植株在生长、光合色素含量和矿质营养的差异不显著;(2)新疆和内蒙古居群的植株在生长、离子含量和矿质营养存在明显的差异,但光合作用相似;(3)角果碱蓬不同居群之间的生长差异,可能与离子和磷钾的吸收有关,与氮素的吸收和光合作用无关,这些是不同居群的角果碱蓬适应干旱区盐碱环境变化的重要生理机制。

**参考文献(References):**


[1] Venable D L. The evolutionary ecology of seed heteromorphism[J]. American Naturalist, 1985, 5(126): 577-595.

[2] Mandák B. Seed heteromorphism and the life cycle of plants: A literature review[J]. Preslia, 1997, 69(2): 129-159.

[3] Imbert E. Ecological consequences and ontogeny of seed heteromorphism[J]. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2002, 5(1): 13-36.

[4] 王雷, 姜黎, 田长彦. 盐分对异子蓬异型种子植株生长和矿质营养的影响[J]. 干旱区研究, 2018, 35(3): 510-514. [Wang Lei, Jiang Li, Tian Cangyang. Effects of NaCl on the growth and mineral nutrient content of plants grown from dimorphic seeds of *Suaeda aralocaspica*[J]. Arid Zone Research, 2018, 35(3): 510-514. ]

[5] Redondogómez S, Mateosnaranjo E, Cambrollé J, et al. Carry-over of differential salt tolerance in plants grown from dimorphic seeds of *Suaeda splendens*[J]. Annals of Botany, 2008, 102(1): 103-112.

[6] Jiang L, Wang L, Yin C H, et al. Differential salt tolerance and similar responses to nitrogen availability in plants grown from dimorphic seeds of *Suaeda salsa*[J]. Flora-Morphology, Distribution, Functional Ecology of Plants, 2012, 207(8): 565-571.

[7] Ungar I A. Ecophysiology of Vascular Halophytes[M]. Boca Raton, FL: CRC Press, 1991.

[8] 魏岩, 刘鹏伟, 安沙舟. 野榆钱菠菜的果实多型性及其萌发对策[J]. 干旱区研究, 2007, 24(6): 835-839. [Wei Yan, Liu Pengwei, An Shazhou. Study on fruit polymorphism and germination measures of *Atriplex aucheri* Moq. seeds[J]. Arid Zone Research, 2007, 24(6): 835-839. ]

[9] Wang L, Baskin J M, Baskin C C, et al. Seed dimorphism, nutrients and salinity differentially affect seed traits of the desert halophyte *Suaeda aralocaspicavia* multiple maternal effects[J]. BMC Plant Biology, 2012, 12: 170. https: //doi.org/10.1186/1471-2229-12-170.

[10] Jiang L, Wang L, Mohsin T, et al. High and differential strontium tolerance in germinating dimorphic seeds of *Salicornia europaea*[J]. Seed Science and Technology, 2020, 48(2): 231-239.

[11] Jiang L, Wang L, Baskin C C, et al. Maternal effects on seed heteromorphism: A dual dynamic bet hedging strategy[J]. Seed Science Research, 2019, 29(2): 149-153.

[12] 杨帆, 曹德昌, 杨学军, 等. 盐生植物角果碱蓬种子二型性对环境的适应策略[J]. 植物生态学报, 2012, 36(8): 781-790. [Yang Fan, Cao Dechang, Yang Xuejun, et al. Adaptive strategies of dimorphic seeds of the desert halophyte *Suaeda corniculata* in saline habitat[J]. Chinese Journal of Plant Ecology, 2012, 36(8): 781-790. ]

[13] Yang Fan, Baskin J M, Baskin C C, et al. Divergence in life history traits between two populations of a seed-dimorphic halophyte in response to soil salinity[J]. Frontiers in Plant Science, 2017, 8: 1028. https: //uknowledge.uky.edu/biology_facpub/136.

[14] Yang F, Yang X J, Baskin J M, et al. Transgenerational plasticity provides ecological diversity for a seed heteromorphic species in response to environmental heterogeneity[J]. Perspectives in Plant Ecology, Evolution and Systematics, 2015, 17(3): 201-208.

[15] Yang F, Baskin J M, Baskin C C, et al. Effects of germination time on seed morph ratio in a seed-dimorphic species and possible ecological significance[J]. Annals of Botany, 2015, 115(1): 137-45.

[16] Lichtenthaler H K. Chlorophylls and carotenoids: Pigments of photosynthetic biomembranes[J]. Methods Enzymol, 1987, 148: 350-382.

[17] Jiang L, Wang L, Zhang K, et al. Copper-induced similar changes in growth and physiological responses of plants grown from dimorphic seeds of *Suaeda slasa*[J]. Pakistan Journal of Botany, 2018, 50(3): 871-877.

[18] 鲍士旦. 土壤农化分析[M]. 北京: 中国农业出版社, 2000. [Bao Shidan. Soil and Agricultural Analysis[M]. Beijing: China Agriculture Press, 2000. ]

[19] Li X W, Wang F W, Sun D Q, et al. Cloning and characterization of SucNHX1, a novel vacular $Na^+/H^+$ antiporter from the halophyte Suaeda corniculata that enhances the saline-alkali tolerance in Arabidopsis by its overexpression[J]. Plant Cell, Tissue and Organ Culture, 2018, 134(3): 395-407.

[20] Liu L, Wang Y, Wang N, et al. Cloning of a vacuolar H $(^+)$-pyrophosphatase gene from the halophyte *Suaeda corniculata* whose

heterologous overexpression improves salt, saline-alkali and drought tolerance in Arabidopsis[J]. Journal of Integrative Plant Biology, 2011, 53(9): 731−42.
[21] 魏磊, 庞秋颖, 张爱琴, 等. 盐碱胁迫对角果碱蓬幼苗光合特性的影响[J]. 东北林业大学学报, 2012, 40(1): 32−35. [Wei Lei, Pang Qiuying, Zhang Aiqin, et al. Effects of salt and alkali stresses on photosynthetic characteristics of *Suaeda corniculata* seedlings[J]. Journal of Northeast Forestry University, 2012, 40(1): 32−35. ]
[22] 白红霞, 斯琴巴特尔. 草地盐碱化对角果碱蓬出苗及生长的影响[J]. 北方农业学报, 2012, 40(5): 36−38, 49. [Bai Hongxia, Sechenbater. Effect of grassland salinization on emergence and growth of *Suaeda corniculata*[J]. Journal of Northern Agriculture, 2012, 40(5): 36−38, 49. ]
[23] 李凯伦, 李艳迪, 郭建荣, 等. $Na^+$促进真盐生植物盐地碱蓬种子产量初探[J]. 植物生理学报, 2020, 56(1): 49−56. [Li Kailun, Li Yandi, Guo Jianrong, et al. Preliminary study on $Na^+$-mediated improvement of seed yield in euhalophyte *Suaeda salsa*[J]. Plant Physiology Journal, 2020, 56(1): 49−56. ]
[24] Matinzadeh Z, Breckle S W, Mirmassoumi M, et al. Ionic relationships in some halophytic Iranian Chenopodiaceae and their rhizospheres[J]. Plant and Soil, 2013, 372: 523−539.

# Comparison of growth and ecophysiological index of plants grown from heteromorphic seeds of *Suaeda corniculata*

JIANG Li[1,2], ZHAO Zhenyong[1,2], ZHANG Ke[1,2], TIAN Changyan[1,2]

(1. State Key Laboratory of Desert and Oasis Ecology, Xinjiang Institute of Ecology and Geography, Chinese Academy of Sciences, Urumqi 830011, Xinjiang, China; 2. University of Chinese Academy of Sciences, Beijing 100039, China)

**Abstract:** Growth, photosynthetic pigment content, and mineral nutrient element content of heteromorphic plants of different populations of *Suaeda corniculata* were measured under similar cultivation conditions to explore the physiological and ecological mechanisms of *S. corniculata* adapting to saline-alkali environments. The results showed that: (1) growth, photosynthetic pigment content, salt ion content, and N, P, K content of brown and black seeds had similar responses to the same environment, but there were significant differences in growth and physiological and ecological indices for heteromorphic seeds across populations. (2) Aboveground dry weight was significantly affected by population type, while root dry weight was not. The photosynthetic pigment content Cha, Chb, Cha+b, and Car were not significantly affected by population type and plant type, suggesting a similar photosynthetic capacity of plants within the population. (3) There were significant differences in $Na^+$, $K^+$, $Ca^{2+}$, $Cl^-$, $SO4^{2-}$, P and K contents between Xinjiang and Inner Mongolia populations, indicating that there were differences in osmotic maintenance ability among different populations. (4) The differences in aboveground growth of *S. corniculata* in different populations were related to ion content and absorption and utilization of P and K, but not to nitrogen absorption capacity and photosynthesis. In conclusion, studies have shown a synergistic relationship between salt ion absorption systems in heteromorphic plants of different populations, which is closely related to mineral element P, K content and may be an important physiological mechanism of *S. corniculata* adapting to environmental change.

**Keywords:** heteromorphism; mineral elements; *Suaeda corniculata*; photosynthetic pigment content